

高职高专规划教材

(数控技术应用专业)

计算机辅助设计

东南大学 苏春 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等院校计算机教材

计算机辅助设计

计算机辅助设计

机械工业出版社

机械工业出版社

高职高专规划教材

(数控技术应用专业)

计算机辅助设计

主编 苏 春
参编 李 芳 张金标 徐 伟
主审 王志平

机械工业出版社

ISBN 7-111-14002-8
定价：16.00元

计算机

计算机

中国

机械工业出版社

责任编辑

封面设计

北京

2004年4月

1000mm×1485mm

元 16.00



机械工业出版社

本书为教育部高职高专规划教材,是针对高职高专数控技术、模具制造等专业计算机辅助设计(CAD)课程的教学要求而编写的。本书主要介绍计算机辅助设计的基本概念、方法及应用,主要内容有CAD与产品设计的关系、CAD技术的现状及发展趋势、CAD系统软硬件的组成、计算机绘图、机械产品建模方法、产品数据交换标准、计算机仿真及虚拟样机设计技术等。重点介绍了计算机绘图软件 AutoCAD、三维机械产品设计软件 SolidWorks 的基本功能及操作。

本书内容新颖、简明、实用,反映CAD技术及软件的最新进展,既具有一定的理论性,又具有很强的可操作性。本书可以作为高职高专院校数控技术、模具制造、机电一体化、机械制造等相关专业的教学用书,也可供有关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助设计/苏春主编. —北京:机械工业出版社, 2004.2

高职高专规划教材. 数控技术应用专业

ISBN 7-111-14003-6

I. 计... II. 苏... III. 计算机辅助设计—高等学校:技术学校—教材 IV. TP391.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第009597号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑:汪光灿 版式设计:张世琴 责任校对:樊钟英

封面设计:陈沛 责任印制:闫焱

北京瑞德印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004年4月第1版第1次印刷

1000mm×1400mmB5·6.25印张·241千字

定价:16.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面防伪标均为盗版

前言

目前,经济全球化的进程正在稳步推进,信息时代又悄然来临,使得知识和信息成为体现一个企业乃至一个国家综合竞争力的核心标志。与此相适应,信息化已成为制造业发展的必然趋势,也成为制造企业市场竞争力的重要体现。

以计算机辅助设计(CAD)技术为基础的产品数字化模型,构成了制造企业信息化的信息之源。同时,CAD技术本身也正经历着深刻变革,主要表现在:由以二维绘图特征的计算机绘图向全三维、数字化产品开发转变;由单一的CAD功能向由CAD/CAE/CAPP/CAM/PDM/ERP等功能模块构成的集成化软硬件系统转变,以支持产品的全生命周期,全面提升企业的产品开发能力。实际上,CAD已经成为制造企业的一种通用性技术平台和手段。2002年4月,国家科技部启动了我国制造业信息化工程重大项目。其中,以三维CAD系统为代表的数字化设计技术被列为七项关键技术之首。

CAD/CAM技术、数控技术、机电控制以及信息技术等课程是高职数控技术、模具制造、机电一体化等专业学生必须掌握的基本理论及技能。编写本书之目的在于:及时反映机械计算机辅助设计技术的发展现状;合理选择教学内容,通过36~48学时的教学及上机实践,使相关专业的学生既掌握CAD领域的基本知识及理论,又具有一定的软件操作及应用能力,以适应专业岗位及职业技能的基本要求。

全书共分6章。其中,第一章介绍了CAD技术的基本概念及应用领域等;第二章阐述了CAD系统的软硬件组成及建立、主流CAD软件及其特点;第三章结合二维绘图软件AutoCAD,介绍了计算机绘图的基本功能及其操作;第四章介绍了产品三维建模技术、产品数据交换标准;第五章介绍了当今CAD软件的关键技术及研究热点,三维机械设计软件SolidWorks的基本功能及其操作;第六章介绍了计算机辅助设计技术新的发展方向,包括计算机仿真、虚拟样机技术等。

本书第一、五、六章由东南大学苏春编写,第二章由常州轻工职业技术学院徐伟、东南大学苏春编写,第三章由南京工程学院李芳编写,第四章由常州机电职业技术学院张金标编写。全书由苏春主编,由常州轻工职业技术学院王志平主审。

在编写过程中,编者参考了大量文献,并得到东南大学职业技术教育学院和机械工程系的大力支持,在此深表感谢!

由于编者水平所限,书中不足及错误之处在所难免,敬请读者批评、指正。

编者 苏春

III

目 录

前言

第一章 CAD 技术概述 1

第一节 CAD 技术的基本概念 1

第二节 CAD 技术的历史、现状及发展趋势 5

第三节 CAD 技术的应用领域及其特点 10

习题 13

第二章 CAD 系统的组成与建立 14

第一节 CAD 系统组成概述 14

第二节 CAD 系统的硬件构成 14

第三节 CAD 系统的软件构成 18

第四节 CAD 系统的建立过程和方法 21

第五节 主流 CAD 软件介绍 26

习题 29

第三章 计算机绘图软件 AutoCAD 30

第一节 AutoCAD 软件的基础知识 30

第二节 常用的绘图命令 40

第三节 对象的捕捉与选择 50

第四节 常用的图形编辑命令 55

第五节 图形实体属性 65

第六节 尺寸标注 74

第七节 定制样板图 83

第八节 计算机绘图应用示例 83

习题 90

第四章 产品建模技术 91

第一节 产品建模技术概述 91

第二节 形体在计算机内部的表示 92



第三节	基于线框、曲面及实体的产品建模	96
第四节	产品的特征及参数化建模技术	102
第五节	产品结构模型	106
第六节	产品数据与产品数据交换标准	108
习题		116
第五章	三维机械设计软件 SolidWorks	117
第一节	CAD 软件的关键技术及研究热点	117
第二节	SolidWorks 软件的工作流程分析	120
第三节	SolidWorks 软件的产品建模	123
第四节	SolidWorks 产品建模应用示例	170
习题		176
第六章	计算机仿真及虚拟样机技术	179
第一节	计算机仿真的基本概念	179
第二节	虚拟样机设计技术	185
习题		193
参考文献		194

第一章 CAD 技术概述

第一节 CAD 技术的基本概念

一、产品设计与 CAD 技术之间的关系

设计是人类改造自然的一种基本活动，它是复杂的思维过程，也是具有创造性的活动。设计技术就是设计过程中解决具体设计问题的方法、手段。总体上，机械设计技术经历了三个发展阶段：17 世纪以前的“直觉设计阶段”；17 世纪后的“经验设计阶段”以及“传统设计阶段”；目前广泛应用的“现代设计阶段”。

传统设计技术以“静态、经验、被动、手工”为基本特征。20 世纪中期以来，科学技术的发展对传统的产品开发提出挑战，各种新材料、新工艺、新技术的出现，使传统设计技术难以满足产品设计需求。主要体现在：市场竞争日益激烈，要求企业提供质优、价廉、具有创新性的产品；新技术快速、广泛地应用到产品开发中，使产品的功能及结构趋于复杂。同时，相关科学及技术的发展，尤其是计算机科学及技术，促进了设计方法及手段的现代化，逐步形成了现代设计技术。

现代设计技术试图主动地设计产品的参数，具有“系统、动态、优化、科学、创造、主动、计算机化”等特点，具体表现为：

- (1) 系统性 现代设计技术强调用系统的观点处理设计问题，从整体上把握设计对象，考虑对象与外界（人、环境）的联系。
- (2) 动态性 不仅要考虑产品的静态特性，还要考虑产品在实际工作状态下的动态特征，考虑产品与周围环境的物质、能量及信息的交互。
- (3) 优化性 通过优化理论与技术，对产品进行方案优选、结构优选和参数优选，力争实现系统整体性能的最优，以获得功能全、性能好、成本低、价值高的产品。
- (4) 科学性 现代设计技术建立在科学的数学、物理、力学等理论及方法之上，不断摒弃传统设计中主要依赖直觉、类比以及经验的设计，使设计结果更为科学、合理。
- (5) 创造性 现代设计技术建立在先进的设计理论及设计工具基础上，能充



分发挥设计者的创造性思维能力和集体智慧,运用各种创造方法,有利于开发出具有创新性的产品。

(6) 主动性 科学技术的发展使得在产品设计的早期,就可对产品全生命周期的各种性能作出准确预测,有利于及早发现产品的潜在缺陷,将各种修改、可能发生的故障减少到最低程度,体现了主动性的特征;也有利于缩短开发周期、降低生产成本、提高产品质量。

(7) 计算机化 计算机技术的产生和发展给人类社会带来了深远而广泛地影响。目前,计算机已经广泛渗透到机械产品的开发各个环节中,甚至到了离开计算机就难以实现产品开发的地步。

计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)是20世纪50年代以后发展起来的、基于计算机的现代设计技术。它是指以计算机为工具,处理产品设计过程中的数字与图形信息,辅助完成产品设计的技术。

广义的CAD技术涵盖以下内容:①利用计算机进行产品的概念化设计、造型、装配、二维工程图及相关文档设计;②利用计算机进行产品渲染、动画显示;③利用计算机对产品进行有限元分析、优化设计、可靠性设计、运动学及动力学仿真等。狭义的CAD则是指其中第①条内容。

图1-1给出了产品设计过程与CAD技术之间的关系。随着相关技术的成熟,CAD技术越来越广泛和深入地渗透到产品开发过程中,成为产品开发的基本工具。

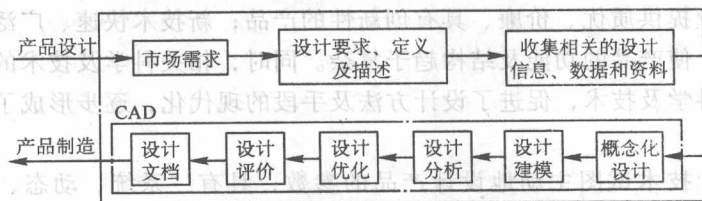


图 1-1 产品设计与 CAD 技术之间的关系

由图1-1可以看出,产品开发源于用户及市场需求。从总体上讲,从市场需求到最终产品要经历设计(Design)和制造(Manufacturing)两大过程。其中,设计过程可以分为综合(Synthesis)和分析(Analysis)两个子过程。

综合子过程用于确定产品的工作原理、功能和内在特点,在很大程度上决定了产品开发的成本和所需费用,对于分析乃至整个设计过程都至关重要。综合子过程所涉及的信息多是定性的,较难被计算机系统所描述、接受和利用。近年来,专家系统(Expert Syetem)和知识基系统(Knowledge-based System)等在解决上述问题上取得一定进展。综合子过程的结果是形成产品的概念化设计模型。

概念化设计往往是设计人员对各种可能方案进行讨论和评价的结果,可以勾勒出产品的初步布局和草图,定义出产品各部件之间的内在联系及约束关系。为



预测和评价产品概念设计的性能，需要以定量方法对概念化设计模型进行描述，这就是产品建模。产品建模为进行产品分析创造了条件。

分析过程是产品设计过程的重要组成部分。设计人员对产品模型进行分析、优化和评价后，并综合各方面因素，决定最终的产品设计方案。在计算机环境下，可以利用各种算法、软件对设计方案进行设计、分析和优化，有利于在更短的时间内作出更好的决策。分析过程的结果是生成设计文档，包括图样、材料明细表（Bill of Material, BOM）、费用分析及其他文件，为产品的制造过程作出准备。

从图 1-1 可知，CAD 是产品设计过程的一个子集。将设计者的思维形成产品的概念化设计模型后，CAD 软件就可以作为几何建模工具用于定义产品的几何模型，从而将设计者的思想表达出来。以产品的几何模型为基础，可以采用各种算法如优化算法、有限元法等对产品性能进行分析、评价和优化，并根据测试和评价结果对几何模型进行修改和定型。当得到最终的设计结果时，可以利用 CAD 系统生成产品的详细模型及文档。

CAD 的核心是几何建模技术。颜色、网格、修正符等造型辅助功能可以使建模过程更简洁；图形变换功能有利于从不同视角更好地观察模型；渲染和动画等可视化操作有利于设计者的概念表达、交流和进行干涉检验；各种分析及优化软件，如有限元法（Finite Element Method, FEM）软件等，具有形状和结构优化功能，为进行产品优化提供了有力的分析工具；运动学及动力学软件则可以预测产品性能；而工程图绘制、尺寸及公差标注、物料单等功能是各种 CAD 软件的基本功能。表 1-1 给出了 CAD 工具与设计过程各阶段之间的关系。

表 1-1 支持设计过程所需的 CAD 工具

设计阶段	所需的 CAD 工具
概念化设计	几何建模技术，造型辅助功能，可视化操作，图形变换
设计建模	同上，装配，爆炸图，模具设计，特定的造型软件
设计分析、优化及评价	有限元分析软件，形状、结构优化程序，运动学及动力学仿真软件，定制的程序及软件
设计文档	工程图，装配图，尺寸、公差标注，物料单（BOM），渲染图，数控编程，其他设计文档

从发展历史看，CAD/CAM 是受技术和应用驱动而形成。其中，航空、汽车及造船工业在很大程度上决定了 CAD/CAM 技术的发展。一般地，工业环境下 CAD 技术的应用过程及内容如图 1-2 所示。

二、计算机在 CAD 技术中的作用

CAD 技术是有机结合人和计算机的优点而形成的新型设计方法。由 CAD 的定义，可以得出以下结论：



1. CAD 技术强调产品设计过程中计算机的支持和参与

与传统设计方法相比，CAD 技术充分利用了计算机的特点，如强大的信息存储能力、逻辑推理能力、重复工作能力、快速精确的计算能力以及方便快捷的修改编辑功能等，从而极大地提高了设计效率和质量。正因为计算机具有上述优点，才使得 CAD 技术得到广泛研究和应用。

2. CAD 技术强调计算机的辅助作用

尽管计算机具有上述优点，但它也只是人们从事产品设计的工具而已。人具有创造性思维，能够对

设计过程进行分析和综合，转换成适合于计算机处理的数学模型，编制解算上述模型的程序。人还可以控制程序的运行，并对设计结果进行分析、评价和修改，得出优化的设计方案。人的直觉、经验和判断是产品设计中不可缺少的，也是计算机无法代替的。总之，人在产品设计的各个阶段始终具有最终的控制权、决策权，计算机只是起重要的辅助作用，而不是取代人。

3. CAD 技术不可能、也没有必要涉及产品设计的所有环节

因此，在产品设计过程中，如何正确地处理人机之间的关系、充分发挥各自优势，是 CAD 技术应用中的重要问题。表 1-2 对人和计算机的特点作出了比较。

表 1-2 人和计算机的特点比较

比较项目	人	计算机
数值计算能力	弱	强
推理及逻辑判断能力	以经验、想像和直觉进行推理	模拟的、系统的逻辑推理
信息存储能力	差，与时间有关	强，与时间无关
重复工作能力	差	强
分析能力	直觉分析强，数值分析差	无直觉分析能力，数值分析强
出错率	高	低

从表 1-2 可以看出，人和计算机的能力大多数方面都是互补的，即在某些方面人的能力强于计算机，而在某些方面计算机的能力又强于人。

就计算能力而言，计算机的优势是显而易见的。它具有计算速度快、错误率低、精度高等优点，可以完成数值计算、信息管理、建模、绘图、有限元分析、

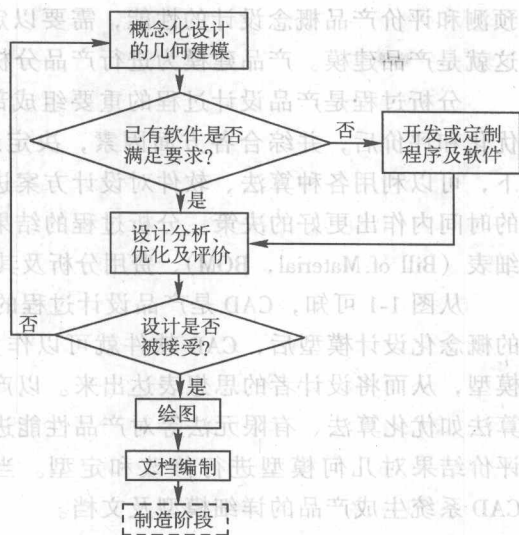


图 1-2 工业环境下 CAD 技术的应用过程及内容



优化、运动仿真等任务,成为产品设计的重要辅助工具。某些设计及分析过程,如优化计算、有限元分析、迭代运算等,离开计算机的参与就难以完成。

计算机还具有强大的数据存储能力,能够在数据存储、管理及检索中发挥重要作用。在计算机出现之前,设计人员需要从技术文件或设计手册中查找相关数据,效率低下,容易出错。利用计算机和数据库技术,可以实现数据的有序存储、检索和使用,从而使设计人员全身心地投身于创造性的设计工作中。

总之,只有恰当地处理好人与计算机之间的关系,最大限度地发挥各自的优势,才能获得最大的经济效益。

另外,CAD 技术只是计算机在产品开发中的应用环节之一。在产品制造过程中,计算机同样能发挥重要作用,一般称之为计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)。利用计算机可以辅助完成制造过程中的工艺计划编制、数控程序编制、数控加工控制及作业管理等环节。狭义的 CAM 技术是在制造的某个环节应用计算机,而广义的 CAM 技术则是指利用计算机完成从原材料到产品的全部制造过程。

计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)之间具有密切关系,两者之间存在双向联系。设计人员在利用 CAD 进行设计时,应考虑 CAM 的制造要求,如公差和加工特征等。CAD 的设计结果也直接影响工艺规划的制定和其他制造环节。人们发现,只有将两者有机地结合起来,才能获得更大的经济效益。主要原因如下:

1) 只有与 CAM 技术结合,产品的 CAD 模型信息才能被充分利用。

2) 只有基于产品的 CAD 模型,才能充分体现数控加工的高效特征。

因此,在实际应用中,CAD 和 CAM 技术自然地结合起来,进而形成 CAD/CAM 技术。以 CAD/CAM 技术为基础,考虑对产品开发、制造及售后等环节的信息集成,就形成了计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)。

CAD/CAM 技术正在深刻地改变传统的产品设计、制造和生产组织模式,成为加快产品更新换代、提高企业竞争力、推进企业技术进步的关键技术,被人们称为“产业革命的发动机”。CAD/CAM 技术的发展和水平已经成为衡量国家工业化水平和综合实力的重要标志之一。

第二节 CAD 技术的历史、现状及发展趋势

一、CAD 技术的历史与现状

1946 年,世界上第一台计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator) 在美国宾夕法尼亚大学研制成功。ENIAC 的快速计算能力和大的信息存



储能力极大地减少了弹道的计算时间。

ENIAC 的诞生具有划时代的意义，它极大地解放了生产力。此后，各种数值计算方法在计算机上实现，计算机开始成为工程和产品设计的分析工具。20 世纪 50 年代以后，以美国为代表的工业发达国家出于航空和汽车等工业的生产需求，开始将计算机技术应用于机械产品的设计过程中，既而形成 CAD 技术。CAD 技术的发展大致经历了以下几个阶段：

1. 准备和酝酿阶段（20 世纪 50 年代初）

1950 年，美国麻省理工学院 MIT 研制出旋风（Whirlwind）图形设备，可以显示简单图形；20 世纪 50 年代后期，出现了图形输入装置——光笔；1958 年，美国 Calcomp 公司研制出滚筒式绘图仪，Gerber 公司研制出平板绘图仪。

总之，20 世纪 50 年代，CAD 技术处于构思交互式计算机图形（Computer Graphics, CG）阶段，主要解决计算机中图形的输入、显示和输出问题。

2. 初步应用阶段（20 世纪 60 年代）

1962 年，美国麻省理工学院林肯实验室（Lincoln Laboratory）的 Ivan. E. Sutherland 发表了“SketchPad：一个人机通信的图形系统”的博士论文，首次提出了计算机图形学、功能键操作、分层存储符号、交互设计技术等新思想，为 CAD 的发展和应用准备了必要的理论基础和技术。SketchPad 系统的出现是 CAD 发展史上的里程碑，它表明通过阴极射线管（Cathode Ray Tube, CRT）显示器交互创建图形和修改对象的可能性。到了 20 世纪 60 年代中期，CAD 的概念开始为人们接受，CAD 超越了计算机绘图的范畴而强调了利用计算机进行设计的思想。

1964 年，美国 IBM 公司推出了商品化计算机绘图设备，美国通用汽车公司研制成功多路分时图形控制台，可实现各阶段的汽车设计。1965 年，美国洛克希德飞机公司（Lockheed Aircraft）推出第一套基于大型机的商用 CAD/CAM 软件系统——CADAM 软件系统。1966 年，贝尔电话实验室（Bell Telephone Lab.）开发了价格低廉的实用交互式图形显示系统 GRAPHIC1，促进了计算机图形学和 CAD 技术的迅速发展。

20 世纪 60 年代，交互式计算机图形处理得到深入研究，相关软硬件系统也走出实验室而趋于实用。20 世纪至 60 年代末，美国安装的 CAD 工作站已达 200 多台。

3. 广泛使用时期（20 世纪 70 年代）

进入 20 世纪 70 年代后，20 世纪 60 年代有关计算机图形学的研究和努力得到回报，其潜在的高效率引起工业界、政界以及学术界的广泛重视。存储器、光笔、光栅扫描显示器、图形输入板等形式的图形输入设备开始进入商品化，出现了面向中小企业的 CAD/CAM 商品化软件“交钥匙系统（Turnkey System）”，它包括图形输入/输出设备以及相应的 CAD/CAM 软件。这种系统的性能价格比较高，提供基于线框模型（Wireframe Model）的三维建模及绘图工具。曲面模型（Sur-



face Model) 得到初步应用。1979 年, IGES (Initial Graphics Exchange Specification) 标准发表, 为 CAD/CAM 的标准化和通用性创造了条件。与此同时, 与 CAD 相关的技术, 如质量特征计算、有限元建模、NC 纸带生成、检验以及集成电路等得到十分广泛的研究和应用。

20 世纪 70 年代是 CAD/CAM 技术研究的黄金时代, CAD/CAM 的功能模块已基本形成, 各种建模方法及理论得到了深入研究。CAD/CAM 的单元技术及功能, 如计算机辅助绘图、有限元分析和数控编程等得到应用。但是, 各功能模块的数据结构尚不统一, 集成性差。

4. 突飞猛进时期 (20 世纪 80 年代)
CAD 的概念已超越了传统的计算机绘图的范畴, 基于微机 (PC 机) 和工作站的 CAD/CAM 系统得到广泛使用; CAD 的新算法、新理论不断出现并迅速商品化, 如基于 Coons、Bezier 以及 Gordon 等曲线的复杂曲面描述方法。实体建模 (Solid Modeling) 技术趋于成熟, 提供了统一的和确定性的几何形体描述方法, 并成为 CAD/CAM 软件系统的核心功能模块; 采用统一的数据结构和工程数据库成为 CAD/CAM 软件开发的趋势和现实。

以美国为例, 1981 年 CAD 系统安装为 5000 套, 1983 年超过 12000 套, 1988 年达到 63000 套。

20 世纪 80 年代, CAD 技术的研究重点是超越三维几何设计, 将各种单元技术进行有效集成, 提供更完整的工程设计、分析和开发环境。

5. 微机化、标准化、集成化发展时期 (20 世纪 90 年代)
微机 (PC 机) 加微软的 Windows 操作系统、工作站加 Unix 操作系统以及以太网 (Ethernet) 为主的网络环境构成了 CAD/CAM 系统的主流平台。CAD 系统图形功能日益增强、图形接口趋于标准化, GKS、IGES、CGI、STEP 等标准及规范得广泛到应用, 实现了 CAD 系统之间以及与 CAM 间的信息兼容和数据共享, 有力地推动了 CAD 技术的普及和推广。

CAD/CAM 软件系统由过去的单一功能向集成功能转变, 软结构和软总线技术得到普遍应用, 并出现了由计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助分析 (CAE)、计算机辅助工艺规划 (CAPP)、计算机辅助制造 (CAM)、产品数据管理 (PDM) 等功能模块构成的计算机集成制造系统 (CIMS)。

并行处理、多微处理器技术得到应用, 工作速度成倍提高; 网络技术得到应用, 实现了远、近程的资源共享以及异地、协同、虚拟设计和制造。

二、CAD 技术的发展趋势

CAD 是以计算机为基础的应用技术。它源于计算机而产生, 也必然随着计



算机技术的发展而发展。现代信息技术,尤其是网络技术的发展,给 CAD 的发展带来挑战,也提供了新的机遇。总的来说,在网络信息时代,CAD 技术呈现出以下发展趋势:

1) 利用基于网络的 CAD/CAPP/CAE/CAM/PDM 集成技术以实现全数字化设计与制造。在 CAD/CAM 应用过程中,利用产品数据管理(Product Data Management, PDM)技术实现并行工程,可以极大地提高产品开发的效率和质量。例如,过去波音公司的波音 757、767 型飞机的设计制造周期为 9~10 年,在采用 CAX 及 PDM 技术后,波音 777 型飞机的设计制造周期缩短为 4.5 年,使企业获得了巨大的利润,也提高了企业的竞争力。

随着相关技术的发展,越来越多的企业将通过 PDM 进行产品功能配置,利用系列件、标准件、借用件、外购件以减少重复设计,在 PDM 环境下进行产品设计和制造,通过 CAD/CAM 的集成,实现完全无图样的设计和全数字化制造。

2) CAD/CAPP/CAE/CAM/PDM 技术与企业资源计划、供应链管理、客户关系管理结合,形成企业信息化的总体构架。CAD/CAPP/CAE/CAM/PDM 主要用以实现企业设计、工艺和制造过程的管理;企业资源计划(Enterprise Resource Planning, ERP)以实现企业产、供、销、人、财、物的管理为目标;供应链管理(Supply Chain Management, SCM)以实现企业内部与上游企业之间的物流管理;客户关系管理(Customer Relation Management, CRM)则可以帮助企业建立、挖掘和改善与客户之间的关系。

上述技术的集成,可以由内而外地整合企业的管理,建立从企业的供应决策到企业内部技术、工艺、制造和管理部门,再到用户之间的信息集成,从而实现企业与外界的信息流、物流和资金流的顺畅传递。

3) 通过 Internet 将企业的业务流程紧密地连接起来,对设计和制造的所有环节如订单、采购、库存、计划、制造、质量控制、运输、销售、服务、维护、财务、成本和人力资源等进行有效管理。

4) 虚拟工厂、虚拟制造、动态企业联盟将成为 CAD/CAM 技术发展的重要方向。

传统的产品开发过程,经历了从设计、绘图、制造、样机试验的串行过程。若样机试验达不到设计要求,还需经过修改设计、重新制造样机、再进行试验的过程。因此,新品开发的周期长、成本高、效率低。

采用 CAD/CAM 技术,可以为新产品的开发提供一个虚拟环境,借助三维产品 CAD 模型,可以使设计者更逼真地看到正在设计的产品及其开发过程,认知产品的形状、尺寸和色彩基本特征,用以验证设计的正确性和可行性。通过 CAE 分析,可以对虚拟产品的各种性能和动态特征进行计算仿真,如质量特征、变形过程、力学特征和运动特征等,模拟零部件的装配过程,检查所用零部件是否符合



适和正确；通过 CAM 软件定义加工过程，进行 NC 加工模拟，可以预测零件和产品的加工性能和加工效果，并根据仿真结果及时修改相关设计。借助于产品的虚拟模型，可以使设计人员直接与所设计的产品进行交互操作，为相关人员的交流提供了统一的可视化信息模型，能有效地缩短产品的开发周期，提高产品质量。

在虚拟制造方式中，CAD/CAE/CAM 电子文档以及相关信息可以通过 Internet 在联盟企业之间传递；通过及时生产（JIT）以实现合作厂商之间物流的零库存，以降低库存成本；合作厂商之间的结算则采用电子商务形式来完成；企业的销售也将通过 B2B 或 B2C 的电子商务模式；而对用户使用产品的服务和技术支持，也可以通过电子化服务来完成。

总之，CAD 技术在中企业中应用的目标是增强企业的竞争力，这种竞争力主要表现为提高生产效率和降低成本等方面。

就 CAD 技术而言，它还面对网络计算环境以及如何用来提高企业创新设计能力等问题。围绕上述目标，CAD 软件及技术应具备以下几个基本特征：

1. 标准化

由于 CAD 软件产品众多，为实现信息共享，相关软件必须支持异构跨平台环境。上述问题的解决主要依靠 CAD 的标准化技术。从 20 世纪 80 年代开始，国际标准化组织（ISO）着手制订 ISO10303 “产品数据模型交换标准”（Standard for the Exchange of Product Model Data, STEP）。STEP 采用统一的数字化定义方法，几乎涵盖了所有人工设计的产品。

目前，主流 CAD 支撑软件已逐步实现了 ISO 标准及其他工业标准，而面向应用的标准构件及零部件库的标准化也开始成为 CAD 系统的必备内容，从而为实现信息共享创造了条件。

2. 开放性

目前，CAD 系统普遍建立在开放式操作系统 Windows 和 Unix 的平台基础上，也有的 CAD 产品是基于 Java Linux 平台。多数的 CAD 系统还为最终用户提供二次开发环境，有的甚至公开其内部源代码。这些都体现了 CAD 软件的开放性。

3. 集成化

20 世纪 90 年代以后，计算机集成制造（CIMS）的技术成为制造业应用计算机技术的重要方向。它的目标是将产品设计、加工、经营及管理等活动集成起来，实现企业资源的最优配置，被认为是 21 世纪制造工业的生产模式。CAD 技术提供了共享的产品数据模型，成为 CIMS 的基础和关键。

CAD 技术的集成化体现在以下三个方面：① CAD 与 CAE/CAPP/CAM/PDM/ERP 等软件模块集成，为企业提供了一体化解决方案，推动了企业信息化进程。目前，基于 CAD 的创新设计能力已成为企业信息化建设的重点；② 将 CAD 技术



的算法、功能模块及系统,以专用芯片的形式加以固化,以提高 CAD 系统的效率;③ CAD 在基于网络计算环境实现异地、异构系统企业间的集成,虚拟设计、虚拟制造及虚拟企业就是该集成层次的具体体现。

CAD 软件开发的另一个趋势是在全球范围内优选最成功的功能构件进行集成。目前,成熟的几何造型平台有 Parasolid 和 ACIS;几何约束求解构件主要产品是 2D 和 3D DCM。国产机械 CAD 系统已经部分采用了 ACIS 和 Parasolid 平台。

4. 智能化

产品的设计过程是具有高度智能的人类创造性活动,智能 CAD 是 CAD 发展的必然方向。从人类的认识和思维模型来看,现有的人工智能技术还难以模拟人类的思维活动,如形象思维、抽象思维和创造性思维等。因此,智能 CAD 不是简单地将现有的智能技术与 CAD 技术相结合,而是要深入研究人类设计的思维模型,并用信息技术来表达和模拟它,从而产生高效的 CAD 系统,并为人工智能领域提供新的理论和方法。

第三节 CAD 技术的应用领域及其特点

一、CAD 技术的应用领域

CAD 及 CAM 技术的产生和应用对人类的发展和进步带来了广泛而深远的影响。1989 年,美国国家工程科学院评选出当代(1964~1989 年)十项最杰出的工程技术成就,CAD/CAM 技术列第四项。1991 年,美国政府发表跨世纪的国家关键技术发展战略,选出六大技术领域中的 22 项与国家安全和经济繁荣密切相关的键项目。其中,11 个项目与 CAD/CAM 技术相关,涉及制造、信息和通信等领域。

几十年来,CAD 技术得到迅速应用和普及,主要表现在:由军事工业向民用工业扩展,由大型企业向中小企业推广,由高技术领域向家电、轻工等普通产品中普及,由发达国家扩展到发展中国家。

我国政府也十分重视 CAD 技术的发展。科技部曾提出“到 2000 年,机械制造业应用 CAD 技术的普及率和覆盖率达 70% 以上,CAD/CAM 的应用水平达到国外工业发达国家 20 世纪 80 年代末、90 年代初的水平,工程设计行业的 CAD 普及率达 100%,实现勘察手段从传统的手工方式向现代化方式的转变,CAD 的应用水平达国际 20 世纪 90 年代中期的先进水平。”

广义的 CAD 技术涉及的范围从二维工程图绘制开始,深入到图样文档的电子化管理、三维造型、装潢渲染、有限元分析(FEM)、优化设计、仿真模拟、产品数据管理(PDM)、制造资源计划(MRP II)以及虚拟设计等内容。CAD 的